View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Gunadarma University: Ejournal UG

APLIKASI PERHITUNGAN ESTIMASI REKAYASA HIDROLOGI SEBAGAI DASAR DESAIN REKAYASA BANJIR PADA SUNGAI CILIWUNG BERBASIS WEB

[1]Astie Darmayantie, [2]Amalia Indah Siltya, [3]Hana Nurbaiti Hasanah, [4]Fani Yayuk Soepomo

[1]Fakultas Teknologi Industri, [2,3]Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, [4]Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Gunadarma,
Jl. Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Jawa Barat
[1]astie.darmayantie@gmail.com, [2]amiisiltya@gmail.com, [3]rositahanna@gmail.com, [4]fbee2009@gmail.com

Abstrak

Perubahan pola cuaca yang ekstrim, salah satunya pada pola intensitas hujan, merupakan salah satu kontibutor terjadinya bencana hidrometerologi. Analisis pengalihragaman hujan dan rekayasa hidrologi dilakukan untuk memberikan gambaran terhadap desain rencana mitigasi bencana alam salah satunya adalah bencana banjir. Pada penelitian ini dibuat sebuah aplikasi berbasis web yang dapat dimanfaatkan dalam melakukan perhitungan estimasi desain rekayasa hidrologi, khususnya rekayasa banjir. Aplikasi yang dibangun memberikan hasil berupa estimasi nilai penurunan debit sesuai dengan jumlah sodetan, dan volume reservoir yang direncanakan. Aplikasi yang dibangun mampu membandingkan enam metode pendekatan Analisa distribusi frekuensi intensitas curah hujan rencana. Enam metode ini kemudian diuji menggunakan metode uji Smirnov-Kolmogorov untuk menentukan metode akhir yang digunakan. Berdasarkan penelitian ini, metode analisa distribusi gumbel memberikan hasil terbaik dalam pengujian kecocokan sebaran. Data hujan rencana yang dihasilkan dari perhitungan metode gumbel kemudian digunakan untuk menghasilkan Kurva Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF). Data ini selanjutnya digunakan untuk melakukan estimasi rekayasa hidrologi seperti, penurunan debit sungai dan volume reservoir serta jumlah sodetan. Pada aplikasi ini estimasi penurunan debit air rekayasa dengan dua skema perhitungan yaitu perhitungan untuk memperoleh nilai debit air sungai rekayasa sesuai dengan variabel desain normalisasi sungai yang direncanakan dan simulasi estimasi jumlah reservoir yang dibutuhkan berdasarkan jumlah sodetan dan penurunan debit yang diinginkan.

***Kata Kunci**: kurva* IDF, *rekayasa hidrologi, rekayasa perangkat lunak, metode mononobe*

Abstract

The extreme rainfall intensity that caused by extreme weather event, is one of the contributors caused by the hydrometeorology disaster such as flood. Analysis of rain diversification and hydrological engineering is carried out to provide an assessment to natural disaster mitigation plan. This research introduces a web-based application in hydrological engineering, specifically used for flood engineering. The application provides an estimation of discharge reduction as the result of the number of river flow and the volume of reservoir, in accordance with the engineering designed. The application built is able to compare the six approaches to the analysis of the frequency distribution of rainfall intensity plans. These six methods are then tested using the Smirnov-Kolmogorov method to determine the final method being used. This study finds that Gumbel distribution gives the best results in the suitability of distribution. The data generated from the calculation of the Gumbel method is then used to produce an Intensity-Duration-Frequency (IDF) Curve. The data produced, is then being used to estimate hydrological engineering, such as decreasing river discharge, reservoir volume and the number of river flow.

***Keywords**: hydrological engineering, software engineering, IDF curve, mononobe method.*

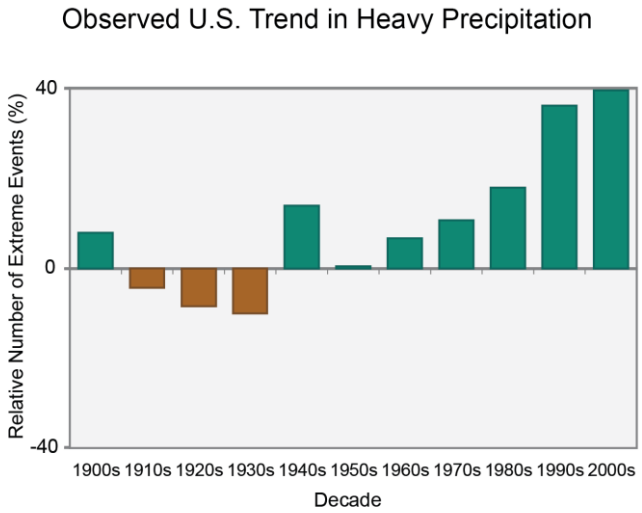
https://doi.org/10.35760/tr.2020.v25i1.2705

PENDAHULUAN

Berdasarkan data DIBI-BNPB tahun 2015, 78% kejadian bencana yang terjadi di Indonesia adalah bencana hidrometerologi [1]. Pola cuaca ekstrim akibat pemanasan global berdampak besar terhadap intensitas hujan. Suatu peristiwa cuaca dikategorikan ekstrem jika menghasilkan tingkat hujan, suhu, angin, atau efek lainnya yang luar biasa tinggi atau rendah [2]. Hujan dianggap ekstrem jika tidak seperti 90% atau 95% dari peristiwa cuaca serupa yang terjadi sebelum-nya di daerah yang sama [3].

Berdasarkan Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI)-BNPB, terlihat bahwa dari lebih dari 1.800 kejadian bencana pada periode tahun 2005 hingga 2015 lebih dari 78% (11.648) kejadian bencana merupakan bencana hidro meteorologi [1]. Salah satu faktor yang mem-berikan kontribusi terjadinya bencana hidro-meterologi adalah perubahan iklim. Pada awal tahun 2020, Indonesia mengalami bencana banjir besar yang terjadi di beberapa wilayah Jabodetabek. Salah satu penyebab terjadinya bencana tersebut adalah intensitas curah hujan yang ekstrim. Menurut Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) [5] [6], intensitas curah hujan yang terjadi pada tanggal 1 Januari 2020 merupakan curah hujan ekstrem tertinggi yang terjadi berdasar-kan data yang diperoleh selama 154 tahun terakhir [7].

Pada Gambar 1 ditunjukkan trend indeks curah hujan ekstrim pada periode tahun 1901-2012 [4] di Amerika Serikat. Terlihat pada Gambar 1, trend peningkatan kejadian curah hujan ekstrim ini telah terjadi dalam beberapa dekade terakhir. Upaya pencegahan terjadinya banjir akibat curah hujan yang tinggi dapat dilakukan dengan mengelola aliran air serta menyediakan tempat penampungan air yang memadai.



Gambar 1. Alur Proses Perhitungan Data Intensitas Hujan

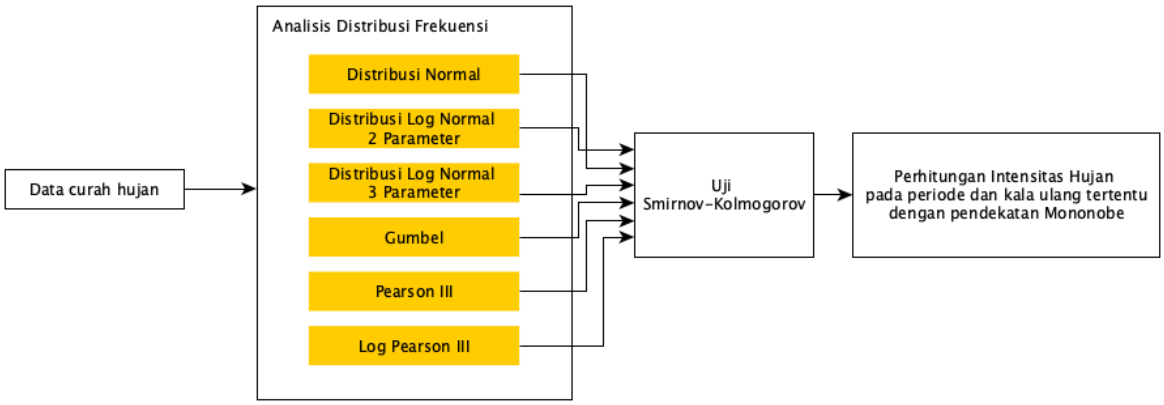
[sumber [6]]

Salah satu penyebab terganggunya pengelolaan aliran air sungai adalah perubahan fungsi lahan hutan dan tata guna lahan di sekitar aliran DAS. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, pemerintah daerah telah mengambil langkah praktis yaitu dengan melakukan normalisasi terhadap fungsi sungai [8][9].

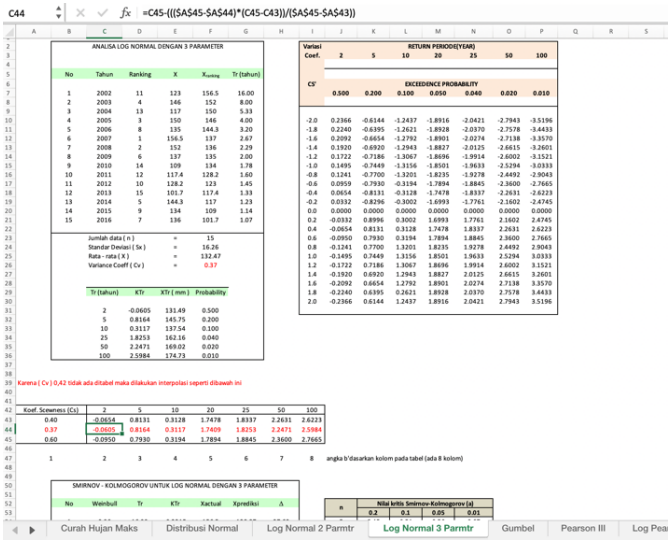
Salah satu sungai yang memegang peranan vital terhadap kejadian bencana banjir pada wilayah Jabodetabek dan Tanggerang adalah Sungai Ciliwung. Daerah Aliran Sungai (DAS) Sungai Ciliwung melewati empat wilayah administasi yaitu Kabupaten Bogor, Kotamadya Bogor, Kota Depok dan DKI Jakarta. Hulu sungai ini sebagian besar terletak pada Kabupaten Bogor (meliputi 3 kecamatan yaitu Megamendung, Cisarua, Ciawi) dan sebagian kecil Kotamadya Bogor. Bagian hilir sungai Ciliwung terletak di Pintu Air Manggarai, Jakarta. DAS Sungai Ciliwung terletak diantara dua DAS besar yaitu di sebelah barat DAS Cisadane dan disebelah timur DAS Citarum. Sungai Ciliwung dalam perjalanannya menuju DKI Jakarta menerima tambahan kuantitas dari sungai dan waduk antara lain Saluran Kalibaru, Saluran Tarum Barat, Saluran Bali Matraman, Saluran Kalibata, Waduk Melati, Kali Cideng dan Sungai Krukut [10]. Kondisi geografis ini menyebabkan meluapnya volume air sungai ciliwung akan mempengaruhi volume air pada sungai/kali lain yang berbatasan sehingga dampak yang ditimbulkan menjadi meluas.

Pada perancangan rekayasa hidrologi, perhitungan debit sungai dapat didekati dengan menggunakan metode rasional. Analisis pengalihragaman air hujan menjadi aliran dilakukan guna melakukan perhitungan estimasi debit air sungai berdasarkan data curah hujan [11] yang direkam pada stasiun cuaca. Sifat hujan memiliki beberapa yang perlu diperhatikan dalam melakukan perhitungan pengalihragaman air hujan antara lain intensitas Hujan (I), Lama Waktu Hujan (d), Frekuensi (F) dan Luas Daerah Pengaruh Hujan (A) [6]. Analisis hubungan antara dua parameter hujan yaitu Intensitas dan Durasi dapat dihubungkan secara melakukan analisis statistik pada frekuensi kejadian hujan menghasilkan grafik hubungan Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF) [12]. Beberapa metode pendekatan yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan intensitas hujan rekayasa yaitu metode pendekatan mononobe, *Van Breen, Haspers Weduwen,* dan *Bell Tanimoto* [13].

Pada Gambar 2 ditunjukkan serangkaian tahapan pra-proses sebelum data curah hujan dapat digunakan lebih lanjut untuk menentukan nilai intensitas hujan rekayasa. Nilai intensitas hujan rekayasa ini yang kemudian dimasukkan ke dalam persamaan matematika untuk menentukan nilai debit rekayasa. Berdasarkan diskusi yang dilakukan oleh tim peneliti dengan narasumber yang berasal dari Teknik Sipil, proses perhitungan dan uji kecocokan yang dilakukan selama ini menggunakan aplikasi *spreadsheet* seperti Microsoft excel seperti pada Gambar 3.



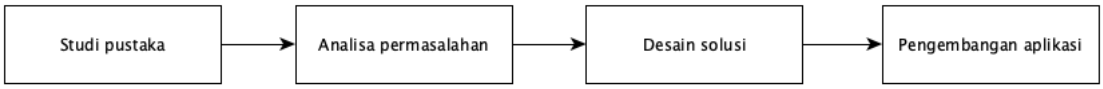
Gambar 2. Alur Proses Perhitungan Data Intensitas Hujan



Gambar 3. Contoh Halaman Spreasheet Perhitungan Untuk Menentukan Nilai Intensitas Hujan Rekayasa Menggunakan Microsoft Excel.

Pada metode ini, pertambahan jumlah perhitungan penedekatan distribusi dan pertambahan data hujan maksimum yang dimasukkan berakibat pada banyaknya jumlah sheet yang dibuat. Hal ini dinilai dapat meningkatkan resiko kesalahan yang terjadi selama perhitungan berlangsung.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini membahas tentang pengembangan aplikasi berbasis web untuk melakukan perhitungan estimasi variabel dalam perhitungan desain rekayasa banjir. Aplikasi ini didesain untuk melakukan perhitungan estimasi penurunan debit sesuai dengan variabel desain normalisasi sungai yang ada, seperti jumlah sodetan dan volume reservoir yang direncanakan. Aplikasi ini juga didesain untuk melakukan simulasi estimasi jumlah reservoir yang dibutuhkan berdasarkan jumlah sodetan dan penurunan debit yang diinginkan.



Gambar 4. Tahapan Penelitian

Data curah hujan yang digunakan dalam perhitungan aplikasi ini merupakan data curah hujan tahun 2002-2016 pada tiga stasiun cuaca yaitu stasiun gadog, stasiun cibinong, dan stasiun fakultas Teknik Universitas Indonesia. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk melakukan penambahan / pembaharuan basis data dengan melakukan pengunggahan data intensitas hujan ke dalam sistem.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini disusun dalam beberapa tahapan seperti pada Gambar 4. Penelitian ini dimulai dengan memahami permasalahan yang ada dan melakukan analisis. Hasil Analisis ini selanjutnya digunakan sebagai masukan terhadap solusi yang diajukan. Dengan kompleksitas perhitungan yang dilakukan, diajukan pengembangan sebuah aplikasi yang dapat melakukan estimasi terhadap nilai debit rekayasa berdasarkan variable desain restorasi sungai seperti jumlah sodetan dan volume reservoir. Aplikasi yang dibangun merupakan aplikasi berbasis web untuk memberikan fleksibilitas akses dalam melakukan perhitungan.

Analisis permasalahan

Data hujan maksimum merupakan data masukan yang digunakan sebagai basis dalam menghitung intensitas hujan. Pendekatan metode statistik digunakan dalam melakukan estimasi nilai intensitas hujan dimasa yang akan datang. Analisa ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan di masa yang akan datang dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian hujan di masa akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu [14]. Pemilihan model distribusi frekuensi dilakukan dengan menggunakan metode analisis persebaran data Smirnov-Kolmogorov. Enam metode pendekatan frekuensi intensitas curah hujan rencana yang dibandingkan antara lain metode Distribusi Normal, Log Normal 2 Parameter, Log Normal 3 Parameter, Gumbel, Pearson III, dan Log Pearson III.

Model distribusi yang memberikan nilai hasil uji terbaik kemudian dipilih sebagai nilai masukan yang digunakan dalam menentukan nilai intensitas hujan rekayasa. Perhitungan nilai intensitas hujan rekayasa selanjutnya dilakukan dengan menggunakan metode pendekatan mononobe untuk membentuk kurva IDF [15]. Adapun formula perhitungan intensitas hujan diberikan pada Persamaan (1) sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} + \left[\frac{24}{t}\right]^{\frac{2}{3}} \qquad (1)$$

Dengan:

I = intensitas curah hujan (mm /jam)

t = lamanya curah hujan (jam)

R_{24} = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

Selanjutnya perhitungan debit rencana didapatkan dengan melakukan perhitungan dengan menggunakan Persamaan (2) berikut:

$$Q = 0.278 * C * I * A \quad (2)$$

Dimana,

Q = debit air periode ulang tertentu (m^3/detik)

C = koefisien aliran

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas daerah aliran sungai

Pada penelitian ini, variabel A memiliki nilai 157, yang merupakan panjang aliran sungai Ciliwung dari bendungan katulampa sampai dengan pintu air manggarai. Nilai variabel koefisien aliran (C) tergantung dari beberapa faktor, antara lain: jenis tanah, kemiringan, luas dan bentuk aliran sungai. Nilai variable C yang dianjurkan digunakan adalah 0.75. Nilai 0.75 merupakan nilai yang masuk dalam bentangan DAS dengan karakteristik seperti pegunungan berlereng terjal, daerah perbukita, daerah bersemak, daerah perumahan, daerah industri, persawahan irigasi, sungai daerah pegunungan, sungai kecil di dataran maupun sungai besar dengan wilayah aliran lebih dari seperdua dari dataran [9].

Desain Solusi

Pada Gambar 5 terlihat diagram alur dari simulasi perhitungan nilai penurunan debit berdasarkan masukan yang diberikan oleh pengguna. Sesuai dengan alur proses yang ada, dalam menentukan nilai penurunan debit pengguna akan diminta untuk memasukkan nilai variabel koefisien C dan I sesuai dengan studi yang dimiliki. Dalam hal ini, jika studi kasus perhitungan nilai debit adalah pada sungai ciliwung, maka nilai C yang direkomendasikan adalah 0.75. Dalam melakukan simulasi jumlah penurunan debit, masukan yang diberikan pengguna adalah jumlah sodetan yang akan dibangun dan jumlah volume dari reservoir yang direncanakan.

Selanjutnya persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai volume dari reservoir seperti pada gambar 5 (c) dirumuskan dalam Persamaan (3) sebagai berikut:

$$V = \frac{Q * Q'(\%)}{nr} \quad (3)$$

Dengan :

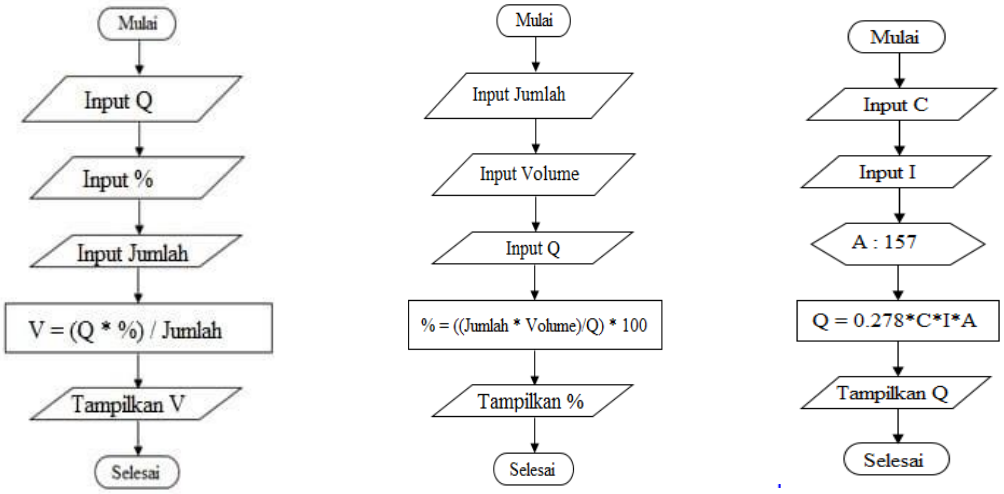
V = volume reservoir rencana

Q = debit air

Q'(%) = persentase pengurangan debit air

nr = jumlah reservoir

Keseluruhan proses perhitungan tersebut kemudian ditranslasikan ke dalam sebuah aplikasi berbasis web. Solusi aplikasi berbasis web diajukan dengan dukungan teknologi internet, untuk memberikan fleksibilitas kepada pengguna dalam mengakses informasi. Aplikasi berbasis web ini dibangun menggunakan bahasa pemrograman PHP dengan menggunakan framework codeigniter. Jenis database yang digunakan adalah database relasional yaitu MySQL.



(a) (b) (c)

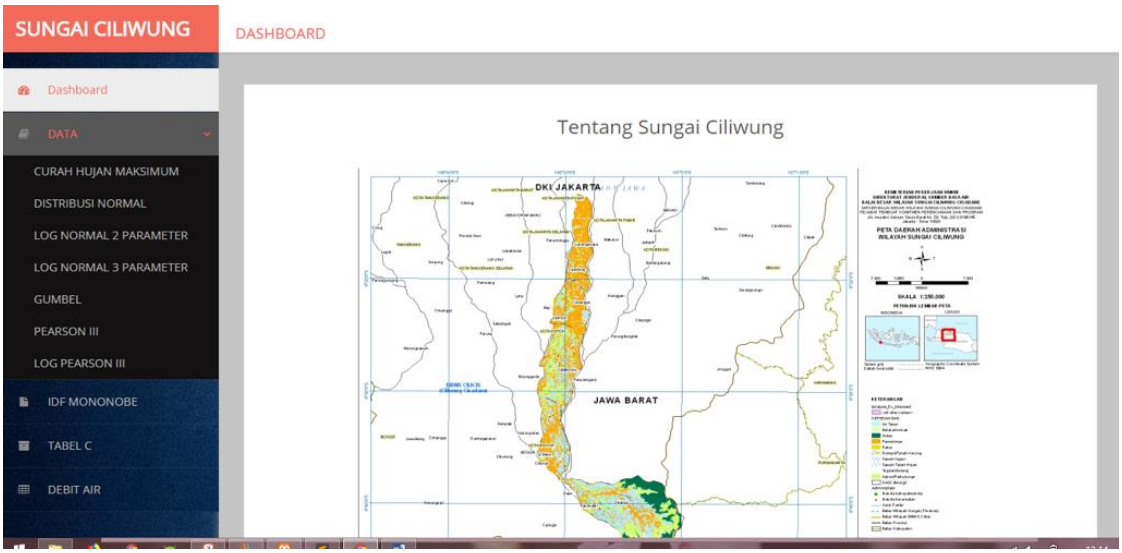
Gambar 5. Diagram Alut Perhitungan Penurunan Debit Sungai

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi yang dibangun dapat memberikan dua skema perhitungan. Skema pertama berupa nilai estimasi pernurunan debit air sungai rekayasa sesuai dengan variabel desain normalisasi sungai yang ada, seperti jumlah sodetan dan volume reservoir yang direncanakan. Skema kedua adalah estimasi volume reservoir yang perlu dibangun sesuai dengan nilai rekayasa debit air sungai yang direncanakan. Pada skenario kedua, dimungkinkan untuk melakukan estimasi jumlah reservoir dan sodetan yang dibutuhkan dengan volume tertentu dalam rangka mencapai nilai debit sungai rekayasa direncanakan. Data curah hujan yang digunakan dalam perhitungan aplikasi ini merupakan data curah hujan tahun 2002-2016. Data ini diambil dari tiga stasiun cuaca yaitu stasiun gadog, stasiun cibinong, dan stasiun fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Pada Gambar 6 ditunjukkan gambar antar muka utama aplikasi. Pada antar muka ini tercantum informasi mengenai demografi dari DAS Sungai Ciliwung. Gambar 6 menunjukan gambar antar aplikasi utama yang memuat informasi mengenai sungai ciliwung. Pada menu dibagian kiri terdapat metode distribusi frekuensi yang disbanding-kan oleh aplikasi ini. Pada saat salah satu menu ini dipilih maka akan muncul nilai perhitungan dari metode distribusi yang dipilih, seperti pada Gambar 7.

Pada Gambar 7 ditunjukkan tampilan antara muka hasil perhitungan distribusi frekuensi dengan metode Gumbel. Beberapa informasi yang termuat dalam halaman ini adalah nilai standar deviasi, koefisien reduced mean, koefisien reduce standar deviasi.



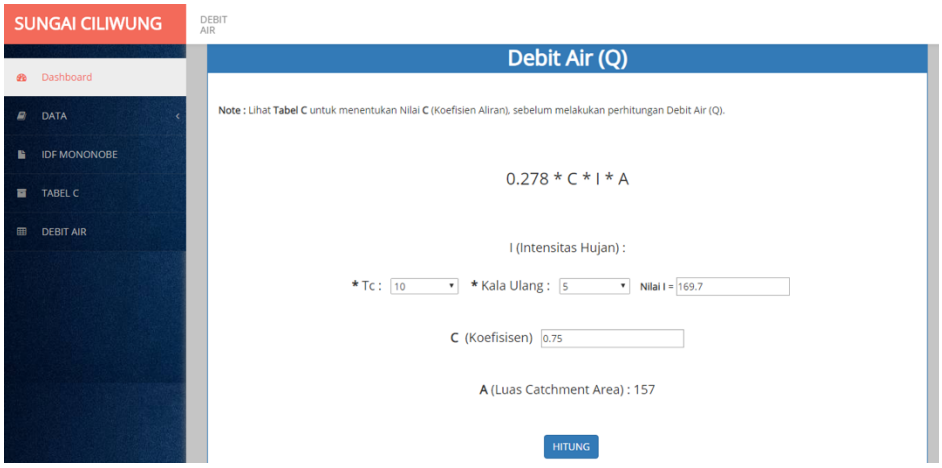
Gambar 6. Tampilan Antar Muka Utama Aplikasi

No.	Tahun	X	$(X_1 - X_{rata-rata})^2$	$X_{ranking}$	T_r (Tahun)
1	2002	123	90	156.5	16
2	2003	146	183	152	8
3	2004	117	239	150	5.333
4	2005	150	307	146	4
5	2006	135	6	144	3.2
6	2007	157	577	137	2.667
7	2008	152	381	136	2.286
8	2009	137	20	135	2
9	2010	109	551	134	1.778
10	2011	117	227	128.2	1.6
11	2012	128	18	123	1.455
12	2013	102	947	117.4	1.333
13	2014	144	140	117	1.231
14	2015	134	2	109	1.143
15	2016	136	12	101.7	1.067

Jumlah Data = **15**
Total Nilai Data = **1987.10**
Rata-rata = **132.47**
Total Squared Deviation to Mean Value = **3702.87**
Standar Deviasi = **16.26**
Koefisien Yn (Reduced Mean) = **0.5128**
Koefisien Sn (Reduce Sd) = **1.0206**

Gambar 7. Nilai hasil perhitungan distribusi frekuensi dengan Metode Gumbel

Hasil uji smirnov-kolmogorov terhadap data masukan yang ada menunjukkan bahwa metode distribusi gumbel merupakan metode yang memiliki nilai delta maksimum paling rendah yaitu 11.47. Metode yang digunakan untuk melakukan estimasi nilai hujan rekayasa pada aplikasi ini adalah metode Gumbel.



Gambar 8. Tampilan Antar Muka Utama Aplikasi

Pada Gambar 8 terlihat antar muka aplikasi yang digunakan pengguna untuk melakukan perhitungan debit air sungai rekayasa. Nilai intensitas hujan (I) akan terhitung secara otomatis sesuai dengan nilai variabel lama durasi hujan (t_c) dan kala ulang yang dimasukkan oleh pengguna. Nilai koefisien C merupakan nilai yang merepresentasikan hambatan aliran yang bergantung pada jenis lahan yang ada di sekitar aliran DAS. Pada studi kasus ini, nilai koefisien C yang dianjurkan adalah 0.75. Hal ini dikarenakan nilai tersebut masuk ke dalam rentangan berbagai jenis tipe lahan DAS mewakili daerah DAS sungai Ciliwung. Nilai variabel A adalah 157 sesuai dengan panjang sungai ciliwung yang diukur dari bendungan katulampa hingga pintu air manggarai.

KESIMPULAN DAN SARAN

Sebuah aplikasi perhitungan estimasi rekayasa hidrologi berbasis web untuk merencakanan sebuah desain banjir rekayasa telah dikembangkan dalam penelitian ini. Pada aplikasi ini dapat dilakukan estimasi penurunan debit air rekayasa dengan dua skema perhitungan yaitu perhitungan untuk memperoleh nilai debit air sungai rekayasa sesuai dengan variabel desain normalisasi sungai yang direncanakan dan simulasi estimasi jumlah reservoir yang dibutuhkan berdasarkan jumlah sodetan dan penurunan debit yang diinginkan. Estimasi rekayasa hidrologi dilakukan berdasarkan pada IDF yang dihasilkan dari data hujan rencana hasil perhitungan metode gumbel. Pada penelitian selanjutnya, penambahan fitur teknologi berbasis geographical information system (GIS) dapat diadopsi untuk memberikan gambaran lokasi sodetan dan reservoir yang direncanakan kepada pengguna sehingga output sistem yang dihasilkan menjadi lebih interaktif.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M.R. Amri, dkk. “Risiko Bencana

Indonesia", 2016. [Daring]. Tersedia: https://bnpb.go.id/documents/irbi-15-1575660452.pdf. [Diakses: 20 Maret 2020]

[2] I.G.B. S. Dharma, M.I. Yekti, dan G.I. Permana, "Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir", *Berkala Ilimiah Teknik Keairan,* vol. 13, no.3, hal. 155 - 170, 2007.

[3] National Academy of Science, "Global Warming is contributing to extreme weather events". [Daring]. Tersedia: https://sites.nationalacademies.org/BasedOnScience/climate-change-global-warming-is-contributing-to-extreme-weather-events/index.htm. [Diakses: 21 Maret 2020]

[4] National Climate Assessment, "Extreme Weather", 2014. [Daring]. Tersedia: https://nca2014.globalchange.gov/highlights/report-findings/extreme-weather , [Diakses: 21 Maret 2020]

[5] W. Adiyoso, "Banjir besar di Jakarta awal 2020: penyebab dan saatnya mitigasi bencana secara radikal", 2020. [Daring]. Tersedia: https://theconversation.com/banjir-besar-di-jakarta-awal-2020-penyebab-dan-saatnya-mitigasi-bencana-secara-radikal-129324. [Diakses: 21 Maret 2020]

[6] Suroso, "Analisis Curah Hujan untuk Membuat Kurva Intensity Duration Frequency (IDF) di Kawasan Rawan Banjir Kabupaten Banyumas", *Jurnal Teknik Sipil*, vol.3, no.1, hal.37 – 40, 2006.

[7] R.H. Permana, "Data BMKG: Curah Hujan 2020, Tertinggi Sejak 154 Tahun Lalu", 2020. [Daring]. Tersedia: https://news.detik.com/berita/d-4843572/data-bmkg-curah-hujan-2020-tertinggi-sejak-154-tahun-lalu, [Diakses: 30 Maret, 2020]

[8] Bappenas, "Kebijakan Penanggulangan Banjir di Indonesia", 2016. [Daring]. Tersedia: https://www.bappenas.go.id/files/5913/4986/1931/2kebijakan-penanggulangan-banjir-di-indonesia__20081123002641__1.pdf. [Diakses: 30 Maret 2020]

[9] Pusdatin PUPR, Konsep Pemerintah Dalam Mengatasi Penanganan Banjir, 2015, [Daring]. Tersedia: https://www.pu.go.id/berita/view/3088/konsep-pemerintah-dalam-mengatasi-penanganan-banjir, [Diakses: 30 Maret 2020]

[10] H.D. Wahjono dkk, Sistem Pemantauan Online Untuk Pengendalian Pencemaran Kualitas Air Sungai Di DAS Ciliwung, Jakarta Pusat: Pusat Teknologi Lingkungan BPPT, 2015. [E-book] Tersedia: http://www.kelair.bppt.go.id/Publikasi/BukuOnlimoDASCiliwung/. [Diakses: 30 Maret 2020]

[11] H.N Hasanah, "Aplikasi Simulasi Perhitungan Kapasitas Reservoir

Sungai Ciliwung Menggunakan Framework CodeIgniter", Skripsi, Universitas Gunadarma, Depok, 2019.

[12] D.A Sofia dan N. Nursil, "Analisis Intensitas, Durasi dan Frekuensi Kejadian Hujan di Wilayah Sukabumi", *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol.4, no.1, hal. 85 – 92, 2019.

[13] A.I. Siltya, "Aplikasi Simulasi Penurunan Debit Air Sungai Ciliwung Berbasis Web", Skripsi, Universitas Gunadarma, Depok, 2019.

[14] F.U. Astuti, A. Hendry, dan Y.L. Handayani, "Pemilihan Metode Intensitas Hujan Yang Sesuai Dengan Stasiun Hujan Pekanbaru", *JOM FTEKNIK*, vol. 2, no. 1, hal. 1 – 9, 2015.

[15] D.U. Exacty dan A.P. Wijaya, "Analisis Curah Hujan Berdasarkan Kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF) Di Daerah Potensi Banjir Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: DAS Bogowonto Kabupaten Purworejo)", *Jurnal Geodesi Undip*, vol.3, no.4, hal.106-116, 2014.